

Date of Submission:

平成 28年 1月 15日

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 093309 号	Supervisors 指導教員	石田 誠 河野 剛士
Applicant's name 氏名	岡部 謙志			

Abstract

論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	無線センサデバイスに向けた小型アンテナと無線電力伝送技術に関する研究 (A Small Size Antenna and Wireless Power Transmission Techniques for Wireless Sensor Devices)
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

センサデバイスと回路技術・無線技術を一体化した無線センサノードは、モノやヒトの状態を管理するシステムの構築や、ヒトの脳とコンピュータを繋ぐブレインマシンインターフェイスなどの応用に期待が高まっている。無線センサノードを構成する要素の1つであるアンテナには、至る場所に埋め込みを可能にするために小型であること、長距離通信や無線電力伝送のために高利得であることが求められる。本研究では、サファイア基板による高利得なオンチップアンテナと、生体埋め込みに向けた薄膜のフレキシブルアンテナについて検討を行った。

まず、無線センサノードに向けた低周波数・小型・高利得のチップアンテナを目指して、サファイア基板によるアンテナを検討した。比誘電率が9.8のサファイア基板による波長短縮効果と、スパイラル状のアンテナ配線により、小型で低周波数のアンテナの実現を目指す。5mm×5mmのチップ上でアンテナ配線を7回巻にすることで、360MHzの共振周波数を持つアンテナを実現した。製作したアンテナの利得は-29.2dBiであり、シリコン基板によるアンテナに比べて利得を12.9dB向上させる事ができた。さらに、送信回路チップと一体化したデバイスにより、10cmの距離で変調信号の送信を実現した。

次に、生体埋め込みアンテナの設計に向けて、生理食塩水を用いた設計及び評価方法について検討した。生体組織のモデルを用いてアンテナを設計する事は可能であるが、実際に生体組織を用いた測定は倫理的に困難である。そこで、生理食塩水中でのアンテナの特性の測定結果から、生体に埋め込んだ際の特性を推測する変換式を提案した。アンテナ周辺の物質の比誘電率に着目した変換式により、生体組織でのリターンロス特性を、生理食塩水モデルで間接的に評価することが可能になる。また、生理食塩水モデルによる埋め込みアンテナの設計にあたり、共振周波数の変動を予測するために、アンテナ配線の長さや幅から、寄生容量を見積もる式を導出した。導出した式から計算された共振周波数と、シミュレーションで得られた共振周波数の比較を行ったところ、共振周波数の誤差は3%以下であった。提案する手法により、ア

アンテナ配線の形状から所望の共振周波数を持ったアンテナの設計が可能になる。

最後に、頭部へ埋め込む無線神経インターフェイスの実現に向けて、無線電力伝送のためのフレキシブルレクテナを提案した。埋め込みデバイスを小型で実現させるために、アンテナと整流器の協調設計を検討した。巻き数比が1:3のオンチップトランスと、3nHのインダクタンスを持ったフレキシブルアンテナにより、外付けのインピーダンスマッチング素子を用いないレクテナを設計した。フレキシブルレクテナの製作では、厚さ5 μ mのフィルムに対してフリップチップボンディングを検討した。異方性導電ペーストを用いて、圧力3N、硬化温度を100 $^{\circ}$ Cとすることで、回路チップとフレキシブルフィルムを一体化する事に成功した。製作したフレキシブルレクテナを用いた電力伝送実験においては、3cmの距離で0.497%の効率で電力を伝送する事が可能である。薄膜フィルムへの回路チップの実装技術は、埋め込みに向けたフレキシブルデバイスの実現方法として、今後の応用が期待される。

Date of Submission:

平成 28年 1月 15日

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 093309 号	Supervisors 指導教員	石田 誠 河野 剛士
Applicant's name 氏名	岡部 謙志			

Abstract**論文内容の要旨 (博士)**

Title of Thesis 博士学位論文名	無線センサデバイスに向けた小型アンテナと無線電力伝送技術に関する研究 (A Small Size Antenna and Wireless Power Transmission Techniques for Wireless Sensor Devices)
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

Various sensor devices using semiconductor technology have been developed to make our livelihood safe. Wireless sensor nodes including these sensors are expected to construct a wireless sensor network, which can be applied for the monitoring of motion and vital signs of humans, in a living environment, such as a building, and for detecting natural disasters. Furthermore, small sensor nodes with these technologies are expected to be used in implantable medical systems, such as a brain machine interface. Since wireless communication technology is required for remote sensing and wireless power transmission (WPT), sensor nodes should have an antenna. The antenna for the wireless sensor node is required to have a high-gain for long distance communication and WPT, and small size in order to allow embedding it to any place. Furthermore, the antenna implanted to the human body should function substantially as designed and, be a low-invasive. In this study, a high-gain on-chip antenna using a sapphire substrate and a thin-film flexible antenna for implantable devices were investigated to realize small size sensor nodes.

A low-frequency radio wave is suitable for long distance communication from human body because a high-frequency radio wave has high attenuation in free-space and biological tissues. The sapphire substrate was selected to realize a high-gain, small size, and low-frequency on-chip antenna. The wavelength shortening caused by the sapphire substrate with relative permittivity of 9.8 and the antenna line with spiral pattern would be expected to make the antenna smaller. The antenna has the area of 4mm×5mm, and the reactance part of input impedance of 0 Ω at 360 MHz when the antenna line is patterned with a width of 20 μm, a thickness of 1 μm, a gap of 10 μm, and the number of turns of 7. The maximum gain of the fabricated antenna using sapphire substrates was -29.2 dBi. The on-chip antenna using a sapphire substrate achieved a 12.9 dB higher gain than that using a silicon substrate and successfully induced signal transmission at a distance of 10 cm with a transmitter chip. The

proposed antenna would achieve a long distance communication about over 10 m with the receiver device, which has a receiver sensitivity of more than -70 dBm.

A thin film flexible antenna with parylene was investigated for realizing an implantable neural interface. Because it is difficult to measure the antenna characteristics using a biological tissue, the parylene film antenna is analyzed in a saline model that represents the brain tissue. This study proposed the equation to convert the return loss characteristics analyzed from saline model to biological tissue. The return loss characteristic of antenna in biological tissue could be evaluated by the conversion equation using the measured characteristic in saline model. In addition, a formula for estimating the parasitic capacitance of antenna in saline was derived by using antenna length and width as an argument. The resonance frequency calculated from the derived equation has less than 3% error compared with simulated resonance frequency. The proposed design method would estimate the resonance frequency of antenna in saline, it helps to design the antenna implanted to the biological tissue.

A co-design method and a wafer-level packaging technique of a flexible antenna and a CMOS rectifier chip are proposed for use in a small-sized implantable system on the brain surface. The advantages of the proposed technique are that it does not require any off-chip matching components between the antenna and the rectifier. The on-chip transformer with a turn ratio of 1:3, and the flexible inductive antenna can help eliminate the need for using extra impedance matching components. In order to fabricate the flexible rectenna, a wafer-level packaging technique has been developed for mounting the CMOS rectifier chip on a thin film flexible antenna with flip-chip bonding. The flexible rectenna was fabricated by using the flexible antenna with a size of $27\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 10\text{ }\mu\text{m}$, and on-chip transformer with an area of $800\text{ }\mu\text{m} \times 800\text{ }\mu\text{m}$. In demonstration of WPT with fabricated rectenna, the device has achieved the maximum efficiency of 0.497% at a distance of 3 cm. The RF-based WPT allows the misalignment of 185% against the antenna size while maintaining more than 85% efficiency degradation, indicating the tolerability against a misalignment compared with electromagnetic induction. Furthermore, the proposed technologies would make a contribution to the realization of implantable flexible device with IC chip.